

جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة الثانية من السنة الثامنة عشر

١٣٧

محاضرة عن

ميل مئذنتي جامع المغفور له محمد علي باشا بالقلعة

لصاحب العزة امام بك شعبان

الأستاذ بكلية الهندسة

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية

بتاريخ ٣١ مارس سنة ١٩٣٨

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الأكبر بمصر



جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة الثانية من السنة الثامنة عشر

١٣٧

محاضرة عن

ميل مئذنتي جامع المغفور له محمد علي باشا بالقلعة

لصاحب العزة امام بك شعبان
الأستاذ بكلية الهندسة

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية
بتاريخ ٣١ مارس سنة ١٩٣٨

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الأكبر بمصر

الجمعية ليست مسئولة عما جاء بهذه الصحائف من البيان والآراء .

تنشر الجمعية على أعضائها هذه الصحائف للنقد وكل نقد يرسل للجمعية يجب أن يكتب بوضوح وترفق به الرسومات اللازمة بالحبر الأسود (شيني) ويرسل رسمها .

ميل مئذنتي جامع

المغفور له محمد على باشا بالقلعة

وحركتهما الدورية اليومية

قبل أن أتكلم عن الميل الأصلي لمئذنتي مسجد المغفور له محمد على باشا بالقلعة وحركتهما الدورية اليومية لا بد من وصف بسيط لهذا الجامع قبل إجراء عملية ترميمه حتى نعرف أسباب الميل الأصلي والحركة اليومية الدورية .

إذا راجعنا إلى شكل (١) نرى أن الجامع يتكون :

أولا — من أربع حيطان رئيسية تكون مربعا طول ضلعه ٤٣ مترا و يبلغ ارتفاع تلك الحيطان ٢٤٫٣٠ مترا وسمكها من أسفل ٢٫٢٠ مترا ويقل سمكها تدريجيا حتى تصبح ١٫٩٠ مترا من أعلى .

ثانيا — من أربع أعمدة مربعة المقطع .

ثالثا — من قبة كبيرة وسط الجامع وأربع قباب صغيرة فى أركانه الأربعة ومن أربع أنصاف قباب ونصف قبة خامسة أوطى من السابقة فوق القبلة .

والقباب جميعها وأنصافها محملة على مجموعة من عقود مرتكزة على الأعمدة الأربعة وعلى أربعة الحيطان الخارجية أى أن سقف الجامع محمل على هذه الأعمدة

والحيطان . ويبلغ عمر الجامع حوالى ١٠٠ سنة وبنى من حجر الدستور الجيرى ومونة الجير ، أما القباب فكانت مبنية من الطوب .

وقد تكونت لجنة فى ديسمبر سنة ١٩٣١ لفحص ما بالجامع من خلل ولاصلاحه — وكانت دهشة هذه اللجنة عظيمة على أثر زيارتها الأولى للجامع بسبب ما رأته من شروخ خطيرة فى معظم أجزاء الجامع الرئيسية .

ولما كان من المسلم به أن أول سبب يتبادر إلى ذهن المهندس عند البحث عن أسباب ما ينتاب الأبنية الضخمة من خلل هو اختلال أساساتها لذلك رأت اللجنة قبل الحكم على حالة أبنية الجامع أنه من الضروري فحص أساساته فحصا دقيقا — ولذلك حفرت اللجنة حفر استكشاف عميقة فى داخل الجامع وخارجه حتى اخترقت سطح الطبقة الصخرية المقام عليها الجامع — وكانت نتيجة هذا الفحص أنه ليس بأساسات الجامع أى عيب حيث أنها ترتكز على سطح صخرى وأبعادها كافية بل وأكثر من اللازم وفى حالة جيدة وقادرة تماما على حمل ماهو واقع عليها من الأثقال وبمعنى آخر أن لا دخل للاساسات فى الشروخ التى كانت بالجامع .

لذلك وجهت اللجنة بحثها نحو فحص القباب واختبار مواد انشائها فكانت النتيجة أن الجهود التى بها ومقاومة المواد التى أنشئت منها لم تكن السبب فى الشروخ ثم وجهت اللجنة فحصها نحو حساب الضغوط الرأسية على الأعمدة الأربعة والحيطان الأربعة الرئيسية فكانت النتيجة أن الضغوط المسببة من الأحمال الرأسية فى نطاق المسموح به ما عدا ما هو واقع منها على الأعمدة الرئيسية الأربعة ، وسأعود إلى هذه النقطة مرة أخرى .

ولما اتضح للجنة أن الاساسات والقباب والحيطان لم تكن السبب فى حصول الشروخ أعادت فحص نفس الشروخ فوجدتها على نوعين . النوع الأول ولو أنه كثير العدد إلا أنه قصير وضيق ومحلى — والنوع الثانى متسع وطويل — واتضح أن السبب فى حدوث النوع الأول هو تأكسد الكائنات الحديدية التى كانت وضعت لتربط الاحجار ببعضها على أمل زيادة متانة المبانى إذ عند ما وصلت الرطوبة إلى تلك القضبان تأكسدت فتمددت فتشققت الأحجار فنشأ هذا النوع من الشروخ المحلية شكل (٢) ومع ذلك فهذا النوع من الشروخ ليس من الأهمية كالنوع الثانى الذى سأقول كلمة عنه الآن .

النوع الثانى كانت شروخه طويلة ومتسعة وسببها أن الأربطة الحديدية التى تربط الأربعة العقود لم تكن مثبتة عند أطرافها أى عند أرجل العقود بدرجة كافية أى أنها لم تقاوم الشد الواقع عليها مع أن مقطعها فى حد ذاته كان كافيا لذلك حصلت شروخ عند أرجل العقود فاتسعت فتحات العقود وأصبحت الأربطة فى حالة ارتخاء أى سائبة وغير قائمة بوظيفتها وعليه انتقل رفص العقود إلى الأعمدة الأربعة الحاملة لها ومن هذه إلى الحيطان الخارجية مع أن تلك الأعمدة والحيطان لم تصمم عند بدء الأمر لمقاومة قوى أفقية ناشئة من رفص العقود فكانت النتيجة حدوث شروخ وخلل فى جميع أجزاء المسجد بشكل فظيع إذ مالت الحيطان الرئيسية الأربعة إلى الخارج ومعها المئذنتان وتشرخت الزوايا والعقود والقباب وقمم الاعمدة الاربعة شكل (٣ و ٤ و ٥)

إذن السبب فى حدوث شروخ النوع الثانى هو ضعف مقاومة المبانى عند نقط اتصال أطراف الأربطة الحديدية بالعقود ، ولما وقفت اللجنة على أسباب

الشروخ وجهت نظرها نحو أمر فى غاية الاهمية ألا وهو هل حركة التصدع وصلت إلى أقصى حد ووقفت أم ما زالت مستمرة ؟ — يمكن معرفة هذا الامر باحدى الوسائل الأربع الآتية :

أولا — بالرجوع إلى ما كتب من تقارير عن وصف الشروخ وحالة المبنى فى الأزمنة المختلفة ولكن بالاسف لم تعثر اللجنة على أى تقرير فى هذا الشأن .

ثانيا — بتقدير عمر الشروخ وذلك بملاحظة شكلها وهذا بالطبع لا يعتمد عليه كثيرا وحتى من هذه الناحية قد وجدت اللجنة أنه ولو أن معظم الشروخ يظهر أنها قديمة إلا أن شروخا كثيرة بها تفرعات حصلت بعد الاصلية بفترة طويله — كما اتضح للجنة أن شروخا قليلة حصلت هى وتفرعاتها حديثا خصوصا بالنسبة للشروخ التى شوهدت بالمبانى المجاورة لاطراف الأربطة الحديدية أى عند أرجل العقود .

ثالثا — بواسطة البحث عن ترميمات سابقة ومن هذه الناحية وجدت اللجنة أن وزارة الاوقاف قد حاولت تقوية قمم الاعمدة الاربعة الرئيسية حيث كانت بها شروخ نتجت عن سببين :

الأول — شدة الضغط الرأسى عليها كما قلت سابقا .

الثانى — عدم قدرتها على مقاومة الشد الواقع على الاربطة الحديدية للعقود .

وبالاسف لم تنجح هذه المحاولة حيث أن الحويطات التى استعملت لم تكن بالطول الكافى فى شكل (٦)

رابعا — بوضع شواهد من الجبس فى الشروخ وملاحظتها فان تشققت كانت الحركة مستمرة ومن هذه الناحية تشققت الشواهد التى وضعتها اللجنة

فى الشروح التى بقمم الاعمدة مما دل على أن حركة التصدع كانت مستمرة شكل (٧) .

من ذلك كله استنتجت اللجنة أن التصدع مستمر وأكبر دليل محسوس على ذلك هو ما قمت به من إرصاد لايجاد مقدار واتجاه ميل كل من المئذنتين فى سنة ١٩٣٢ ، ١٩٣٣ ، ١٩٣٤ ، ١٩٣٥ لمعرفة إن كان هناك زيادة فى الميل . والآن اشرح تلك الارصاد .

سبق علمنا أن الحركة كانت إلى الخارج بسبب رفص العقود إذن المنتظر أن تميل المئذنة البحرية فى اتجاه منصف الزاوية البحرية تقريبا والمئذنة القبلية فى اتجاه منصف الغربية تقريبا شكل (٨) .

وهذا ما دلت عليه الارصاد التى قمت بها على المئذنتين كما أن تلك الارصاد قد دلت على أن الميل يزداد سنة بعد أخرى مما جعل اللجنة تنصح سنة ١٩٣٤ بالاسراع فى ترميم المسجد قبل حدوث كارثة لا سمح الله . والحقيقة أن موقف المئذنتين بالنسبة للخلل الذى كان بالجامع كموقف ميزان الحرارة للمحموم إذ كلاهما يدل على الحالة بالضبط

طرق إيجاد ميل المئذنتين

الناشىء من رفص العقود

رصدت المئذنة القبلية ء من النقطتين ب ، ف حسب الاتجاهات المبينة بالشكل ٩ ا فوضعت تيودوليتا دقيقا عند ب وقست الزوايا $م_{٩}$ ، $مَ_{٩}$ ، $م_{٨}$ ، $مَ_{٨}$ وهلم جرا بين اتجاه أساسى ثابت مختار والمستويات الرأسية المارة بالنقط ٩ ، ٩ ٨ ، ٨ . . . . المبينة مواقعها على المئذنة بالضبط حتى وصلت إلى آخر مدماك شكل ٩ب وبالحساب حصلت منها على متوسطاتها $م_{٩٠}$ ، $م_{٨٠}$ . . . . حيث لا يمكن تعيين مراكز المقاطع ٩٩ ، ٨٨ ، ٧٧ . . . . إلا بهذه الطريقة. وبقياس ل البعد بين ب ، ء مركز المئذنة أمكننى حساب حركة مركز كل مقطع عن موقعه الصحيح فى الاتجاه العمودى على ب ء أى فى الاتجاه ف ء

فمثلا حركة مركز المقطع ٨٨ = ء = ل ($م_{٩٠}$ — $م_{٨٠}$) حا ١َ

أما الميل مَ فيساوى $\frac{ء}{هـ حا ١َ}$ شكل ٩ ب

ثم نقلت التيودوليت إلى نقطة ف ورصدت بنفس الطريقة فحصلت على الحركات فى الاتجاه العمودى على ء ف أى فى الاتجاه ب ء ومن مجموعهما هذه الأرصاد حسبت محصلة الميل واتجاهه ثم رصدت المئذنة ح البحرية من ا ، ى بنفس الخطة وبالعمليات الحسابية حصلت على مقدار واتجاه تحرك مركز كل مقطع عن موقعه الصحيح وبأخذ متوسط الاتجاهات المختلفة للميل لجميع المقاطع وجدت أن اتجاه ميل كل من المئذنتين يكاد ينطبق على منصف زاوية الركن الكائنة به شكل (٩ ا).

بعد ذلك عينت النقطة ب َ فى الاتجاه المار بمركز قاعدة المئذنة حـ وعمودى على مستوى محصلة ميلها . وكذا عينت النقطة اَ بالنسبة للمئذنة ء شكل (١٠)

ثم وضعت التيودوليت فى كل من ب َ ، اَ ورصدت المئذنتين بالنسبة لاتجاه أساسى مختار وحسبت مقدار تحرك مركز كل مقطع فى مايو للسنوات ١٩٣٢ ، ١٩٣٣ ، ١٩٣٤ ، ١٩٣٥ (بعد هدم العقود والقباب)

ونلاحظ أنه عند توقيع الميل بالنسبة للارتفاعات المختلفة على ورق المربعات نجدها لا تقع على خط مستقيم كما هو الواجب فلايجاد الميل المحتمل للمحور المائل للمئذنة نطبق نظرية أقل مجموع لمربعات التصحيحات كما يتضح من العمليات الرياضية الآتية :

لو فرضنا م$_{١}$ ، م$_{٢}$ ، .... م$_{ن}$ الميل المرصود عند الارتفاعات

ع$_{١}$ ، ع$_{٢}$ ، ... ، ع$_{ن}$ على التناظر كما هو مبين بالجداول الآتية بعد و بشكل (١١) وبفرض محور المئذنة يميل بزاوية قدرها ا مع الرأس وأن ظا ا = هـ فان القيمة المحتملة للمقدار هـ هى التى ينتج عنها أقل مجموع لمربعات الاخطاء ف$_{١}$ ، ف$_{٢}$ ، ... ف$_{ن}$. أى أن

ف$_{١}^{٢}$ + ف$_{٢}^{٢}$ + ... + ف$_{ن}^{٢}$ يجب أن يكون أقل ما يمكن .

ف$_{١}$ = القيمة المرصودة — القيمة المحتملة .

= م$_{١}$ — هـ ع

، ف$_{٢}$ = هـ ع$_{٢}$ — م$_{٢}$

. . . .

ف$_{ن}$ = م$_{ن}$ — هـ ع$_{ن}$

$$\therefore (\text{م}_1 - \text{هع}_1)^2 + (\text{هع}_2 - \text{م}_2)^2 \ldots\ldots + (\text{م}_\text{ن} - \text{هع}_\text{ن})^2$$

يجب أن يساوى أقل ما يمكن

هذا المقدار يساوى أقل ما يمكن عندما تكون الكميات التفاضلية له بالنسبة للمقدار $\text{ه} = \text{صفر}$

نجري التفاصيل بالنسبة للمقدار ه

$$-2\text{ع}_1(\text{م}_1 - \text{هع}_1) + 2\text{ع}_2(\text{هع}_2 - \text{م}_2) - \ldots - 2\text{ع}_\text{ن}(\text{م}_\text{ن} - \text{هع}_\text{ن}) = \text{صفر}$$

$$\therefore -\text{م}_1\text{ع}_1 + \text{هع}_1^2 - \text{ع}_2\text{م}_2 + \text{هع}_2^2 - \ldots\ldots - \text{ع}_\text{ن}\text{م}_\text{ن} + \text{هغ}_\text{ن}^2 = \text{صفر}$$

$$\therefore -[\text{ع م}] + \text{ه}[\text{ع}^2] = \text{صفر}$$

$$\therefore \text{ه}[\text{ع}^2] = [\text{ع م}]$$

$$\text{ه} = \frac{[\text{ع م}]}{[\text{ع}^2]}$$

ومن الجداول الآتية حسبت ه ظل زاوية الميل مع الرأسى للارصاد التى عملت فى السنوات ١٩٣٢ و ١٩٣٣ و ١٩٣٤ و ١٩٣٥ ومنها حسبت الميل المحتمل لكل من المئذنتين عند آخر مدماك أى على ارتفاع ٤٠,٦٥ مترا من قاعدة المئذنتين فى السنوات الأربع المشار اليها :

أرصاد المئذنة البحريه ـ سنة ١٩٣٢

نمرة المقطع	م بالمتر	ع بالمتر	م ع	ع^٢
١	٠,١٥٧	٤٠,٦٥	٦,٣٨٢٠٥	١٦٥٢,٤٢٢٥
٢	٠,١٤٦	٣٦,٧٥	٥,٣٦٥٥٠	١٣٥٠,٥٦٢٥
٣	٠,١٣٤	٣١,٣٠	٤,١٩٤٢٠	٩٧٩,٦٩٠٠
٤	٠,١١٦	٢٦,١٨	٣,٠٣٦٨٨	٦٨٥,٣٩٢٤
٥	٠,٠٩٤	٢٠,١٣	١,٨٩٢٢٢	٤٠٥,٢١٦٩
٦	٠,٠٧٤	١٥,٣٢	١,١٣٣٦٨	٢٣٤,٧٠٢٤
٧	٠,٠٥٢	١٠,٢٨	٠,٥٣٤٥٦	١٠٥,٦٧٨٤
المجموع			٢٢,٥٣٩٠٩	٥٤١٣,٦٦٥١

$$هـ = \frac{٢٢,٥٣٩٠٩}{٥٤١٣,٦٦٥١} = ٠,٠٠٤١٦٣٤$$

والميل عند آخر مدماك = ٤٠,٦٥ × ٠,٠٠٤١٦٣٤ × ١٠٠

= ١٦,٩ سم

المئذنة البحرية — سنة ١٩٣٣

ع٢	م ع	ع بالمتر	م بالمتر	نمرة المقطع
١٦٥٢,٤٢٢٥	٦,٧٤٧٩٠	٤٠,٦٥	٠,١٦٦	١
١٣٥٠,٥٦٢٥	٥,٩٥٣٥٠	٣٦,٧٥	٠,١٦٦	٢
٩٧٩,٦٩٠٠	٤,٧٢٦٣٠	٣١,٣٠	٠,١٥١	٣
٦٨٥,٣٩٢٤	٣,٥٠٨١٢	٢٦,١٨	٠,١٣٤	٤
٤٠٥,٢١٦٩	٢,١٥٣٩١	٢٠,١٣	٠,١٠٧	٥
٢٣٤,٧٠٢٤	١,٢٥٦٢٤	١٥,٣٢	٠,٠٨٢	٦
١٠٥,٦٧٨٤	٠,٧٤٠١٦	١٠,٢٨	٠,٠٧٢	٧
٥٤١٣,٦٦٥١	٢٥,٠٨٦١٣			المجموع

$$هـ = \frac{٢٥,٠٨٦١٣}{٥٤١٣,٦٦٥١} = ٠,٠٠٤٦٣٣٨$$

والميل عند آخر مدماك $= ٤٠,٦٥ \times ٠,٠٠٤٦٣٣٨ \times ١٠٠$

$= ١٨,٨٠$ سم

أرصاد المئذنة القبلية ، سنة ١٩٣٢ ا

نمرة المقطع	م بالمتر	ع بالمتر	م ع	ع^{٢}
١	٠,١٨٠	٤٠,٦٥	٧,٣١٧٠٠	١٦٥٢,٤٢٢٥
٢	٠,١٧٦	٣٦,٧٥	٦,٤٦٨٠٠	١٣٥٠,٥٦٢٥
٣	٠,١٦١	٣١,٣٠	٥,٠٣٩٣٠	٩٧٩,٦٩٠٠
٤	٠,١٢٣	٢٦,١٨	٣,٢٢٠١٤	٦٨٥,٣٩٢٤
٥	٠,١٠٧	٢٠,١٣	٢,١٥٣٩١	٤٠٥,٢١٦٩
٦	٠,٠٨٠	١٥,٣٢	١,٢٢٥٦٠	٢٣٤,٧٠٢٤
٧	٠,٠٣١	١٠,٢٨	٠,٣١٨٦٨	١٠٥,٦٧٨٤
٨	٠,٠١١	٥,١٤	٠,٠٥٦٥٤	٢٦,٤١٩٦
المجموع			٢٥,٧٩٩١٧	٥٤٤٠,٠٨٤٧

$$\text{هـ} = \frac{٢٥,٧٩٩١٧}{٥٤٤٠,٠٨٤٧} = ٠,٠٠٤٧٤٢٤$$

والميل عند آخر مدماك = ٤٠,٦٥ × ٠,٠٠٤٧٤٢٤ × ١٠٠

= ١٩,٢٨ سم

أرصاد المئذنة القبلية سنة ١٩٣٣

نمرة القطع	م بالمتر	ع بالمتر	م ع	ع^٢
١	٠,١٨١	٤٠,٦٥	٧,٣٥٧٦٥	١٦٥٢,٤٢٢٥
٢	—	—	—	—
٣	٠,١٨٣	٣١,٣٠	٥,٧٢٧٩٠	٩٧٩,٦٩٠٠
٤	٠,١٢٤	٢٦,١٨	٣,٢٤٦٣٢	٦٨٥,٣٩٢٤
٥	٠,١٠٨	٢٠,١٣	٢,١٧٤٠٤	٤٠٥,٢١٦٩
٦	٠,٠٧٢	١٥,٣٢	١,١٠٣٠٤	٢٣٤,٧٠٢٤
٧	٠,٠٥٢	١٠,٢٨	٠,٥٣٤٥٦	١٠٥,٦٧٨٤
٨	—	—	—	—
المجموع			٢٠,١٤٣٥١	٤٠٦٣,١٠٢٦

$$ه = \frac{٢٠,١٤٣٥١}{٤٠٦٣,١٠٢٦} = ٠,٠٠٤٩٥٧٦$$

والميل عند آخر مدماك = ٤٠,٦٥ × ٠,٠٠٤٩٥٧٦ × ١٠٠

= ٢٠,١٠ سم

المئذنة ح البحرية سنة ١٩٣٤

نمرة القطاع	م	ع	م ع	ع^{٢}
١	٠,١٧٠	٤٠,٦٥	٦,٩١٠٥	١٦٥٢,٤٢٢٥
٢	٠,١٦٢	٢٦,٧٥	٥,٩٥٣٥	١٣٥٠,٥٦٢٥
٣	٠,١٥٩	٣١,٣٠	٤,٩٧٦٧	٩٧٩,٦٩٠٠
٤	٠,١٣٣	٢٦,١٨	٣,٤٨١٩	٦٨٥,٣٩٢٤
٥	٠,١٠٩	٢٠,١٣	٢,١٩٤٢	٤٠٥,٢١٦٩
٦	٠,٠٧٥	١٥,٣٢	١,١٤٩٠	٢٣٤,٧٠٢٤
٧	٠,٠٥٤	١٠,٢٨	٠,٥٥٥١	١٠٥,٦٧٨٤
المجموع			٢٥,٢٢٠٩	٥٤١٣,٦٦٥١

$$ه = \frac{٢٥,٢٢٠٩}{٥٤١٣,٦٦٥١} = ٠,٠٠٤٦٥٨٧$$

والميل عند آخر مدماك = ٤٠,٦٥ × ١٠٠ × ٠,٠٠٤٦٥٨٧

= ١٦,٩ سم

المئذنة ى القبلية سنة ١٩٣٤

نمرة القطاع	م	ع	م ع	ع٢
١	٠,١٨٨	٤٠,٦٥	٧,٦٤٢٢	١٦٥٢,٤٢٢٥
٢	٠,١٨٠	٣٦,٧٥	٦,٦١٥٠	١٣٥٠,٥٦٢٥
٣	٠,١٦٥	٣١,٣٠	٥,١٣٣٣	٩٧٩,٦٩٠٠
٤	٠,١٣٨	٢٦,١٨	٣,٦١٢٨	٦٨٥,٣٩٢٤
٥	٠,١١٧	٢٠,١٣	٢,٣٥٥٢	٤٠٥,٢١٦٩
٦	٠,٠٨٣	١٥,٣٢	١,٢٧١٦	٢٣٤,٧٠٢٤
٧	٠,٠٣٥	١٠,٢٨	٠,٣٤٩٥	١٠٥,٦٧٨٤
٨	٠,٠١٧	٥,١٤	٠,٠٨٧٤	٢٦,٤١٩٦
المجموع			٢٧,٠٦٦٩	٥٤٤٠,٠٨٤٧

$$هـ = \frac{٢٧,٠٦٦٩}{٥٤٤٠,٠٨٤٧} = ٠,٠٠٤٩٧٥$$

والميل عند آخر مدماك = ٤٠,٦٥ × ١٠٠ × ٠,٠٠٤٩٧٥

= ٢٠,٢٢ سم

والنتائج بالنسبة لأعلى المئذنة مبينة بالجدول الآتى شكل (١٠ ا ، ١٠ب).

السنة	المئذنة ى القبلية		المئذنة ح البحرية	
	مقدار تحرك مركز أعلى المئذنة عن موقعه الصواب	التغير	مقدار تحرك مركز أعلى المئذنة عن موقعه الصواب	التغير
١٩٣٢	١٩,٢٨ سم	سم	١٦,٩٠ سم	
١٩٣٣	٢٠,١٠ «	+ ٠,٨٢ «	١٨,٨٠ «	+ ١,٩٠سم
١٩٣٤	٢٠,٢٥ «	+ ٠,١٥ «	١٨,٩٤ «	+ ٠,١٤ «
١٩٣٥	١٨, ٩ «	— ١,٣٥ «	١٨,٧٠ «	— ٠,١٤ «

يتضح من الأرقام السابقة أن ميل المئذنتين كان مستمرا فى الازدياد لغاية ١٩٣٤ مما جعل اللجنة تنصح بالاسراع فى تنفيذ إصلاح الجامع قبل حدوث كارثة ولما كان السبب فى هذا الميل هو رفض العقود لذلك كان يخشى أن ترجع المئذنتين فجأة إلى الوراء عقب هدم العقود والقباب فيسقطان لذلك اشترطت اللجنة على المقاولين أن يهتموا بالمحافظة على المئذنتين وأن يقدموا ضمن عطاءاتهم اقتراحاتهم بشأن الاحتياطات التى سيتبعونها فى المحافظة على المئذنتين أثناء عملية الاصلاح .

كان اقتراح الشركة التى قبل عطاؤها هو بناء بلاطتين من الأسمنت المسلح على ارتفاعين مختلفين فى الزاويتين المقام فيهما المئذنتين قبل هدم العقود والقباب كما هو موضح بشكل (١٢) .

والحمد لله لم يحصل إلا حركة رجعية بسيطة قستها فوجدتها ١٣,٥٠ ملليمتر فى المئذنة القبلية ، ١,٤ ملليمتر فى المئذنة البحرية على أثر هدم العقود والقباب .

وبما أن المقاول كان مسئولا قانونا على سلامة المئذنتين أثناء العمل فقد قام برصد المئذنتين باستمرار منذ شروعه فى الترميم حتى تم ليكون على بينة من حالة المئذنتين على الدوام والرصد والذى قام به سأوضحه الآن .

استعمل المقاول آلة الكلينومتر وهذه تظهر الميل لأقرب ثانية وسأبين أنه بهذه الآلة الدقيقة يمكن استكشاف أى ميل فى أعلى المئذنة ولو بسيط متى كان أكبر من ١٣ر١ ملليمتر .

سبق ذكرت أنه على أثر هدم العقود والقباب رجعت المئذنتان إلى الوراء وأصبحت المئذنة القبلية مائلة بقدر ١٨ر٩ سم بدلا من ٢٠ر٢٥سم والمئذنة البحرية ١٨ر٨٠سم بدلا من ١٨ر٩٤سم .

وبهدم القباب والعقود وزوال الضغط الأفقى من على المئذنتين وبزاول السبب ثبت ميلها وأصبح ميلا ثابتا مستديما ، أى مزمنا وللتأكد من ثبات هذا الميل ولمسئولية المقاول عن سلامة المئذنتين أثناء الترميم اضطر لرصدهما باستمرار فاستعمل آلة الكلينومتر وسأشرح الكلينومتر الآن .

وصف الكلينومتر

هو آلة دقيقة لقياس الميل استعملت لقياس ميل المقاطع المختلفة لمئذنتى الجامع عن الأفق قبل وأثناء و بعد إجراء الترميم شكل (١٣) وهو كما تراه فى المقطع شكل (١٣ ا) عبارة عن القضيب الثابت ب والقضيب المتحرك ا الذى يتحرك حول النقطة الثابتة و وطرفه الأيمن م يتحرك إلى أعلى أو أسفل فى الفتحة ك ومن الفقاعة ى المثبتة بالقضيب ا التى تدل عما إذا كان القضيب ا أفقيا أم لا . والقضيب ا محمل على الزنك الصفيح ر المرتكز على القضيب الثابت ب وهذا الزنبرك علاوة على أنه يحمل القضيب ا فانه ينظم حركة القضيب ا من أعلى إلى أسفل فيسمح للطرف م بالهبوط بالتدريج حيث عند ماتلف الطارة هـ إلى اليمين يلف معها المسمار المقلوظ حـ المثبت بها داخل الصامولة الثابتة ف فتنخفض نقطة التماس م فيميل القضيب ا كما أن هذا الزنبرك يضغط على القضيب ا من أسفل إلى أعلى فيجعل طرفه م دائما ملامسا لطرف المسمار حـ فاذا لف المسمار حـ إلى اليسار ارتفعت النقطة م ويقوم الزنبرك بعمله هذا بما به من المرونة .

فاذا وضعنا الآلة فوق مستوى أفقى ولاحظنا روح التسوية ى وحركنا الطارة هـ حتى تتزن الفقاعة كان القضيب ا أفقيا وفى هذه الحالة يجب أن يقرأ الدليل ن صفرا على المقياس س بفرض عدم وجود خطأ استدلال به .

أما اذا وضعنا الآلة على مستوى مائل بزاوية ص شكل ١٣ ب فان الفقاعة تصبح غير متزنة فبتحريك الطارة هـ يلف المسمار المقلوظ حـ معها حول الصامولة ف الثابتة فيرتفع أو ينخفض حسب ما تشير اليه الفقاعة حتى تتزن تلك الفقاعة ثم نقرأ المقياس س أمام الدليل ن .

و بضرب هذه القراءة فيما يساويه القسم الواحد من أقسام المقياس س من الثوانى الزاوية فنحصل على مقدار زاوية الميل ص المطلوب ايجادها لأننا عندما نزن الفقاعة يصبح و م فى الوضع الأفقى و مَ أى أن الطرف م تحرك من م إلى مَ أى تحرك المسافة ع مم هذا معناه أن المسمار المقلوظ حـ تحرك المسافة ع ملليمترات أيضا واذا فحصنا أقسام المقياس س نجدها ٢٥ قسما كبيرا وكل قسم كبير مقسم إلى عشرة أقسام صغيرة .

إذن عدد أقسام المقياس س جميعها = ٢٥٠ قسما .

ومن المعلوم أنه عند ماتلف الطارة هـ لفة تامة يتحرك المسمار حـ خطوة أى مسافة مساوية للبعد بين سنتين شكل (١٣ ء) والمسمار حـ صنع بخطوة = ٢٥ر٠ مم

∴ كل ٢٥٠ قسم على المقياس س يعادلها خطوة أو ٢٥ر٠ مم رأسيا فى اتجاه ع .

∴ المسافة ع يقابلها $\frac{٢٥٠}{٠,٢٥}$ ع = (١٠٠٠ ع) قسم على المقياس س .

ومن شكل (١٣ ب) .

ع = ل ظا ص وبما أن ص صغيرة فالمقدار ظا ص = ص بالتقدير الدائرى .

∴ ع = ل × صً جا ١ً ∴ صً = $\frac{ع}{ل\ جا\ ١}$ ويقابلها (١٠٠٠ ع) قسم من أقسام المقياس س

∴ كل قسم من أقسام المقياس س = $\frac{ص}{١٠٠٠\ ع}$ بالثوانى

وبوضع قيمة ص

$$\therefore \text{كل قسم من أقسام المقياس س} \quad \frac{١}{١٠٠٠ \text{ ع}} \times \frac{\text{ع}}{\text{ل جا ا}''}$$

$$= \frac{١}{١٠٠٠ \text{ ل جا ا}''}$$

وبما أن ل = ١٩٥ مم ، جا ا″ = ٤٫٨٤ × ١٠$^{-٦}$

$$\therefore \text{كل قسم من أقسام المقياس س} = \frac{١}{١٠٠٠ \times ١٩٥ \times ١٠^{-٦} \times ٤٫٨٤} \text{ بالثوانى}$$

= ١٫٠٥٥ ثانية .

وبما أنه يمكننا القراءة لأقرب قسم يتضح أنه بواسطة الكلينومتر هذا اكتشاف ميل قدره ١″ فى أى مقطع من مقاطع المئذنة وهذا معناه بالرجوع إلى شكل (١٤) أنه بفرض حصول ميل قدره ١″ فى المقطع الأعلى للمئذنة فالميل فى المئذنة عند قمتها

٣٩٠٠ × مَ جا ا″

٣٩٠٠ × $\frac{م}{٢}$ جا ا″ = ٣٩٠٠٠ × $\frac{١}{٢}$ ٤٫٨٤ × ١٠$^{-٦}$ = ٠٫١ مم

أى أنه يمكننا استكشاف ميل قدره ١ر مم فى أعلى المئذنة بفرض أننا قرأنا لأقرب قسم هذا بفرض عدم تذبذب الفقاعة وبما أنه يصعب منع هذا التذبذب فالقراءة بها خطأ يبلغ ١٢ قسم أى ١٢″ وعليه يمكننا استكشاف ميل قدره ١٫١٣ مم بالحساب الآتى شكل (١٤)

الخطأ$_{أ}$ = ٣٩٠٠٠ × مَ × ٤٫٨٤ × ١٠$^{-٦}$ مم

وحيث أن مَ = $\frac{م}{٢}$

∴ الخطأ = ٣٩٠٠ × $\frac{١٢}{٢}$ × ٤٫٨٤ × ١٠$^{-٦}$ مم

= ١٫١٣ ملليمتر فى الطنف الأعلى

والمقياس ض مقسم إلى ٤٠ جزء

فاذا لفت الطارة هـ لفة تامة يلف المقياس ض $\frac{١}{٤٠}$ من محيطه بواسطة تروس معشقة ومتعامدة فى عامود ض وعامود س ونسبة عددها فى ض إلى عددها فى س كنسبة ٢٥٠ إلى ٤٠ أى كنسبة ٢٥ : ٤ شكل (١٣ حـ)

وبالآلة ثلاث فتحات وثلاث دلائل للمقياس س ومثلها المقياس ض وتقرأ جميعها ويؤخذ المتوسط أثناء العمل.

وثبتت أقراص داخل المئذنتين قبل شروق الشمس بنحو ساعة والسبب فى تحديد هذا الوقت سأذكره فيما بعد. وجعلت هذه الأقراص أفقية بوساطة روح تسوية مبين بأشكال (١٤ ا ، ١٤ ب) على مقاطع مختلفة الارتفاع هذه الأقراص عليها ست نقط ارتكاز ا ، ب ، حـ تكون مجموعة مع بعضها ، ع ، و ، م تكون مجموعة أخرى مع بعضها وبوضع نقط ارتكاز السكلينومتر الثلاث مرة على ا ب حـ ومرة على ع و م نحصل على الميل فى الاتجاهين المتعامدين ا س ، م ك شكلى (١٥ ا ، ١٥ ب)

والقرص له غطاءان غطاء داخلى لمنع الأتربة عن نقط الارتكاز وآخر خارجى لمنع أى صدمات عن الاقراص وقد ثبت بكل مئذنة سبع أقراص فعلى المئذنة البحرية ثبت اثنان نمرة ١٣٤ ، ١٤٢ عند المقطع ا تحت الطنف الأعلى مباشرة ونمره ١٦٠ عند المقطع ف ، نمرة ١٥١ عند حـ ، نمرة ١٤٥ عند ى ،

نمرة ١٤٩ عند هـ ، نمرة ١٤١ عند ى شكل (١٦) والسبب فى وضع الأقراص داخل المئذنتين كى لا تؤثر حرارة الشمس والريح على الكلينومتر مباشرة وبذلك نضمن أن مانقرأه على الكلينومتر مسبب عن ميل المئذنتين فقط ووضعت مزولة لرصد اتجاه أشعة الشمس أثناء النهار شكل (١٧) وثبتت آلة لرصد سرعة الريح وأخرى لاتجاهه أثناء اليوم كله شكل (١٨) .

ونرى من شكل (١٩) الكلينومتر وهى فى صندوقها المفتوح وبجوارها روح التسوية المستعمل فى جعل الأقراص أفقية عند تثبيتها ونرى أحد الاقراص وعليه الغطاء الداخلى فقط والغطاء الخارجى منزوعا وفى شكل (٢٠) نرى أحد الأقراص فى موضعه وعليه غطاءاه .

وفى شكل (٢١) نرى نفس القرص والغطاء الخارجى منزوعا .

وفى شكل (٢٢) نرى القرص والغطاء الداخلى منزوع أيضا أى أن القرص مستعد لوضع الكلينومتر عليه .

وفى شكل (٢٣) نرى القرصين ١٣٤ ، ١٤٢ فى أعلى المئذنة البحرية وغطاؤهما منزوعان والكلينومتر موضوع على أحدهما لقياس الميل وفى نفس الشكل نرى البوصلة التى استعملت لقياس الاتجاهات التى وضع فيها الكلينومتر

ثم وضع الكلينومتر على كل قرص فى الوضعين الموضحين بشكل ١٥ ب .

وأخذت ثلاث قرارات لكل وضع ومن متوسط هذه الثلاث قرارات حسب مقدار واتجاه محصله الميل لكل مقطع وضع فيه قرص .

أما حساب محصله الميل فهو من حساب المثلثات الكروى كالآتى :

جتا م = جتا م$_1$ جتا م$_2$.

بفرض م أكبر محصله للميل ، م$_1$ الميل فى اتجاه ا س ، م$_2$ الميل فى الاتجاه م ك .

، مَ اتجاه هذه المحصلة مع اتجاه الميل م$_1$ نحصل عليه من حساب المثلثات الكروى كالآتى : —

$$\text{ظا مَ} = \frac{\text{ظام}_2}{\text{جام}_1} \quad \text{شكل ٢٤}$$

بعد تثبيت الأقراص بدىء الرصد بالكلينومتر عند شروق الشمس واستمر الرصد لغاية شروق الشمس فى اليوم التالى أى لمدة ٢٤ ساعة وكانت الارصاد تؤخذ على جميع الأقراص فى وقت واحد تقريبا و بعد فترات معينة

وكانت النتائج كالآتى شكل (٢٥) قبل شروق الشمس وضع الكلينو متر على الأقراص فوجدت جميعها أفقية ولكن بعد نحو ساعة من شروق الشمس بدأت فقاعة الكلينومتر تتحرك وتخرج عن موضعها الصواب . أى أنه حصل ميل بالأقراص وهذا هو سبب وضع الأقراص فى المبدأ قبل شروق الشمس واستمر هذا الميـــل يزداد بسرعة فى اتجاه أشعة الشمس لغاية الساعة ٣٠ ٨ صباحا إذ كان الميل فى كل من القرصين المثبتين عند الطنف الأعلى حوالى٩٥ً واستمر الميل فى الازدياد فى نفس الاتجاه تقريبا حتى وصل الى ١٢٢ً عند الساعة ٣٥ ١٠ صباحا ثم بدأ الميل يتناقص حتى عاد إلى ٩٥ً حوالى الساعة١٢ صباحا واستمر فى النقصان حتى أصبح ٦٠ً فى الساعة ٢ بعد الظهر ثم نقص الى ٢٠ً عند الساعة الرابعة بعد الظهر أى عند غروب الشمس تقريبا

و اذا تأملنا نرى أن هذه الحركة تكاد تنطبق على اتجاه أشعة الشمس

أثناء النهار و يتضح لنا أيضاً من شكل (٢٥) أن التغير فى الميل من شروق الشمس إلى الساعة الرابعة بعد الظهر غير منتظم مع الوقت بل يكبر التغير حوالى الساعة ٣٠ ٨ عندما يكون الفرق فى درجة الحرارة بين الجانب المعرض للشمس والجانب المقابل له أكبر ما يمكن .

وهذا الفرق يبلغ أقصى قيمة وقدرها ٥ر٥° عند الساعة ٣٠ ٨ تقريبا

حركة المئذنة هذه من شروق الشمس الى غروبها تظهر لنا غريبة خصوصا أنها تبدأ بصفر ثم تتزايد حتى الساعة ٣٠ ١٠ صباحا ثم تصغر حتى الساعة الرابعة بعد الظهر والحركة تأخذ اتجاه الشمس . هذا فى الواقع ليس بغريب لأننا لو أحضرنا قضيبا طوله ل وسمكه س وثبتنا أحد طرفيه وسخنا جانبا منه حتى أصبحت درجة حرارته مرتفعة عن الجانب المقابل بقدر ت° فينحنى القضيب و يأخذ شكل (٢٦) و يميل مقطعه ا ب عن الأفق بزاوية قدرها ا

$$\text{ا} = \frac{\text{ى} \times \text{ت} \times \text{ل}}{\text{س جا أ}} \quad \text{بفرض ى معامل التمدد وهذا} = ٨ \times ١٠^{-٦}$$

للصخور المبنى منها المئذنتان

ولو فرضنا ت = ٥° ، ل = ٣٩ مترا طول المئذنة لغاية الطنف الأعلى

$$\text{، س} = ٣ \text{ متر سمكها} \therefore \text{أ} = \frac{٨ \times ١٠^{-٦} \times ٥ \times ٣٩}{٣ \text{ جا أ}} = ١١٠''$$

عند الطنف الأعلى للمئذنتين وهذا يتفق مع ما وجد بواسطة الكلينومتر بشكل (١٦).

إذن حركة ميل المئذنتين من بعد شروق الشمس بقليل إلى حوالي غروبها

سببه اختلاف درجة حرارة جانبي المئذنة وهذا الاختلاف سببه الشمس . أما من الساعة الرابعة فيعمل الريح الذى يهب غالبـا من الشمال تقريبا وحدة عمله الآلى الشديد فتميل المئذنة نحو الجنوب تقريبا أى مع اتجاه الريح حتى الساعة السابعة مساء حيث يبلغ ميل مقطع المئذنة عند الطنف الأعلى حوالى ٢٠ً — بعد ذلك تقل شدة الريح و يعمل الريح عمله من وجهة الحرارة إذ يهب ريح ضعيف فيبرد الوجه المعرض له عن الوجه المحجوب عنه فينشأ فرق فى درجة الحرارة بين هذين الجانبين فتتحرك المئذنة نحو الجانب البارد أى نحو الشمال تقريبا من الساعة ١٢ مساء إلى قبيل شروق الشمس حيث تعود القراءة على الـكلينومتر إلى صفر أى تعود الأقراص أفقية ثانيا قبل شروق الشمس بنحو ساعة .

إذن حركة المئذنة من حوالى الساعة الرابعة بعد الظهر إلى نحو شروق شمس اليوم التالى جزء منها سببه التأثير الآلى للريح واتجاهه من الشمال إلى الجنوب وفترته من الساعة الرابعة بعد الظهر إلى السابعة بعد الظهر وجزء مسبب من عمل الريح من ناحية الحرارة واتجاهه من الجنوب إلى الشمال و يبدأ حوالى الساعة الثانية عشر مساء إلى ماقبل شروق الشمس حيث تعود الأقراص إلى وضعها الأفقى ثانيا

إذن الحركة الدورية اليومية للمئذنة هى الميل نحو الغرب لغاية السـاعة ١٠ ونصف صباحا بمقدار ٦٠ً ثم العودة إلى ميل بسيط نحو الساعة الرابعة ثم الميل إلى الجنوب لغاية الساعة السابعة مساء بنحو ١٠ً ثم الرجوع إلى الوضع الأفقى من الساعة ١٢ إلى ما قبل شروق الشمس — أى أنه قبل هدم القباب والعقود كان لكل من المئذنتين حركتان الأولى فى اتجاه واحد وكان سببها الضغط الأفقى من تصدع المبانى وهذا الميل كان اتجاهه فى المئذنة البحرية نحو الشمال وكان

يتزايد إذ بلغ ١٨٫٩٤ سم فى مايو سنة ١٩٣٤ والحركة الثانية حركة دورية يومية سببها الشمس والريح واتجاهها فى المئذنتين نحو الغرب تقريبا وتكون صفراً قبل شروق الشمس بحوالى ساعة ثم تتزايد حتى تصل إلى ١٣ ملليمترا تقريبا نحو الساعة العاشرة والنصف صباحا ثم تتناقص حتى تتلاشى قبل شروق الشمس بنحو ساعة فى اليوم التالى — أما بالنسبة للمئذنة القبلية فكانت حركتها الأولى المسببة من الضغط تتزايد حتى بلغت ٢٠٫٢٥ سم فى مايو سنة ١٩٣٤ وكان اتجاهها نحو الغرب والحركة الثانية الدورية اليومية التى سببها الشمس والريح فاتجاهها نحو الغرب وتبدأ بصفر قبل شروق الشمس ثم تتزايد حتى تصل ١٣ ملليمترا تقريبا نحو الساعة العاشرة والنصف صباحا ثم تتناقص حتى تتلاشى قبل شروق الشمس بنحو ساعة فى اليوم التالى شكل (٢٧)

وبعد هدم القباب والعقود زال الضغط الأفقى فرجعت المئذنتان إلى الخلف وأصبح بالمئذنة البحرية ميل ثابت قدره ١٨٫٨٠ سنتيمترا نحو الشمال و بالمئذنة القبلية ١٨٫٩٠سنتيمترا نحو الغرب حسب ما رصدته فى مايو سنة ١٩٣٥ وأصبح لكل من المئذنتين حركة واحدة فقط وهى الحركة الدورية اليومية المسببة من الشمس والريح ، والواقع أن جميع المآذن والأبراج بمصر وغيرها لكل منها حركة دورية يومية طالما طلعت الشمس وهب الريح

إذن قبل هدم القباب والعقود عند ما كنت أقيس الميل الأصلى فى المئذنتين كانت الحركة الدورية اليومية تؤثر على النتيجة فى المئذنة القبلية لأن الحركة اليومية كما نراها من شكل (٢٧) كانت فى اتجاه ميل المئذنة الأصلى ، أما فى المئذنة البحرية فكان اتجاه هذه الحركة الدورية عموديا على اتجاه الميل الأصلى

لتلك المئذنة فلم تؤثر على نتيجة الأرصاد و بما أنى قست الميل الأصلى سنة ١٩٣٢ ، ١٩٣٣ ، ١٩٣٤ ، ١٩٣٥ فى نفس الشهر واليوم والوقت تقريبا فالزيادات أو النقص فى الميل الاصلى بين سنة وأخرى لا دخل فيهما للحركة اليومية أى أن الشمس والريح لا تأثير لهما على الفروقات أى فى الزيادة أوالنقص فى الميل الأصلى للمئذنتين من سنة إلى أخرى

حساب الميل مقدراً بالمسافة الأفقية التى يتحركها مركز القطاع عن الخط الرأسى المار بمركز قاعدة المئذنة

من شكل ٢٨ البعد $\text{س}_{\text{ن}}$ = مقدار تحرك مركز المقطع النونى

$$\text{س}_{\text{ن}} = \bar{\text{س}}_{١} + \bar{\text{س}}_{٢} + \cdots + \bar{\text{س}}_{\text{ن}-١} + \bar{\text{س}}_{\text{ن}}$$

ولكن $\text{س}_{\text{ن}} = ٤٫٨٤ \times ١٠^{-٦} \times \text{ا}_{\text{ن}} \times \text{ع}_{\text{ن}}$

$$\bar{\text{ا}}_{\text{ن}} = \frac{\text{ا}_{\text{ن}-١} + \text{ا}_{\text{ن}}}{٢}$$

$\text{ع}_{١}$ ، $\text{ع}_{٢}$ ، … ، $\text{ع}_{\text{ن}}$ معلومة على المئذنة ، $\text{ا}_{١}$ ، $\text{ا}_{٢}$ ، … ، $\text{ا}_{\text{ن}}$ مقاسه بالكلينومتر

نحسب $\bar{\text{ا}}_{١}$ ، $\bar{\text{ا}}_{٢}$ ، …… ، $\bar{\text{ا}}_{\text{ن}}$ ومنها نحسب $\bar{\text{س}}_{١}$ ، $\bar{\text{س}}_{٢}$ ، … ، $\bar{\text{س}}_{\text{ن}}$

ومن هذه نحسب $\text{س}_{١}$ ، $\text{س}_{٢}$ ، … ، $\text{س}_{\text{ن}}$ أى يمكننا رسم منحنى الترخيم شكل ١٦ ، وفى هذا الشكل نرى منحنى الزوايا ا ميل المقاطع عن الافق بالثوانى لمجموعتين من الارصاد على المئذنة البحرية — المجموعة الاولى أخذت حوالى الساعة ٤٠ ١١ والثانية حوالى ٢٠ ١٢ وموضحة بشكلى (١٦ ، ١٦ ا) حيث الميل أكبر ما يمكن فى هذه الفترة ونرى بشكل (١٦) مواضع الاقراص ا ، ف ، ب ، ح ، د ، هـ ، ى

كما نرى أيضا أن كل قرص يكون أفقيا قبل شروق الشمس ثم يميل بزاوية ا بعد الشروق وتبلغ أ عند الطنف الاعلى فى المتوسط ١١٨" والترخيم ٤ر١٢ ملليمتر ومن منحنى الترخيم نعين نقطة (و) التى ليس بها حركة باعتبار المنحنى قطع مكافىء هذه النقطة واقعة على منسوب ٣٠ر٢٥ متر أى فوق سطح حيطان المسجد بمتر ونراها واقعة فى قاعدة المئذنة وهذا يتفق مع ارصاد القرص نمرة ١٤١ عند (ى) حيث لم يزد الميل عن ١٠" وهذا بسيط جدا و يتفق أيضا مع ما قمت به من أرصاد بالتيودوليت لايجاد الميل الاصلى .

والواقع أن قاعدة المئذنة من منسوب صحن المسجد إلى ٣٠ر٢٥ كانت ثابتة ولم يؤثر فيها رفص العقود ولم تسبب الشمس والريح حركة دورية يومية بخلاف قصبة المئذنة

و بالرجوع إلى شكل (٢٥) نرى

أولا — الحركة الدورية اليومية أثناء الأربع والعشرين ساعة لمركز كل المقاطع المعينة وهذه الحركات تتفق فى الشكل وتختلف فقط فى المدى فيزداد المدى كلما ارتفع المقطع عن قاعدة المئذنة .

ثانيا — نرى ديجراما لمواقع الشمس أثناء النهار

ثالثا — ديجراما لدرجة حرارة جانب المئذنة المعرض للشمس ودرجة حرارة الجانب المحجوب عنها ومنه نرى أن الفرق يبلغ ٥° حوالى الساعة ٣٠ ٨

رابعا — نرى ديجراما لسرعة الريح واتجاهه أثناء معظم اليوم وكذا درجتى حرارة جانب المئذنة المعرض للريح والجانب المحجوب عنه

خامسا — قد وضع فى أعلى المئذنة قرصان ١٣٤ و ١٤٢ لأهمية هذا الموضع حيث الميل أكبر عن غيره

سادسا — لم تنطبق حركتا هذين القرصين كما هو الواجب والسبب راجع لتأثير الجديد على البوصلة من جهة ومن جهة أخرى عدم قراءة الكلينومتر فى وقت واحد لعدم وجود أكثر من كلينومتر واحد

سابعا — مقدار ميل المئذنة المسبب من الشمس يتوقف على الفرق بين درجتى حرارة جانبى المئذنة

واتضح لنا انه فى امكاننا استكشاف أى حركة فى المئذنة أثناء اليوم متى كانت هذه الحركة لا تقل عن ١,١٣ مم فى أعلى المئذنة أو بعبارة أخرى أننا على علم تام بحركة المئذنتين وانه فى امكاننا مراقبة أى حركة تحصل مهما كانت هذه الحركه بسيطة طالما لا تقل عن ١٣ر١ مم وهذا أقصى ما يسعى المهندس لمعرفته للمحافظة على المئذنتين أثناء الترميم .

ثامنا — الحركه الدورية اليومية لكل من المئذنتين لا تزيد عن ١٣ ملليمتر وهذه بسيطة جدا ولا خوف منها وهى لا بد حاصلة طالما تطلع الشمس ويهب الريح ولوحظت فى انشاءات عالية كثيرة كما هو الحال فى ناطحات السحاب المصنوعة من الصلب حيث تبلغ الحركه فى بعضها ٦٠ سنتيمترا

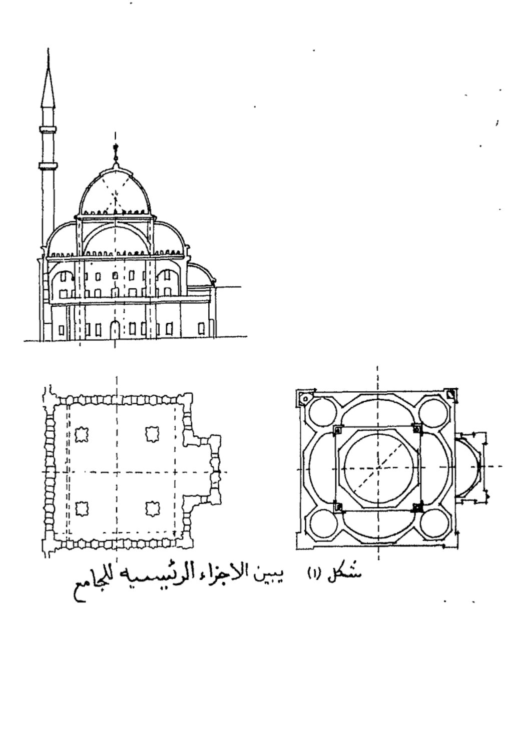
تاسعا — لابد من معرفة مقدار الحركة الدورية اليومية للمئذنتين باستمرار حتى يمكننا استكشاف أى تغير فى الميل الاصلى فيهما ليتبين لنا تأثير عمليات ترميم المسجد أثناء تنفيذها و بعد اتمامها

عاشرا — يجب إذا أردنا معرفة الميل الاصلى فى المئذنتين أن لا نعمل أرصادا بالتيودوليت بين شروق الشمس والساعة الرابعة والنصف مساء حيث

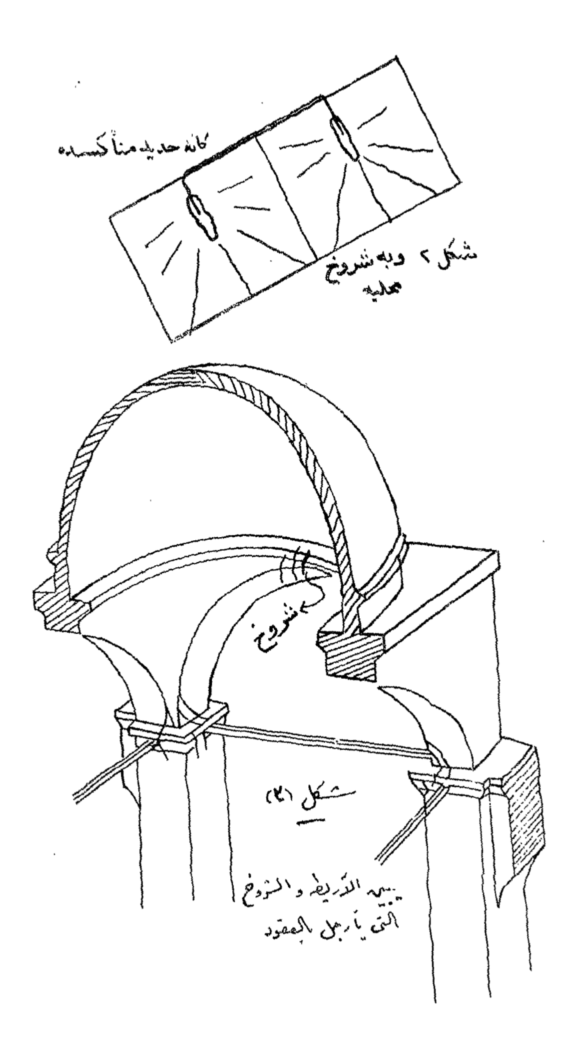
فى هذه الفترة تكون الحركة اليومية الدورية المسببة من أشعة الشمس فى أقصى حدها وأحسن وقت للرصد بالتيودوليت هو ساعة أو اثنين قبل شروق الشمس حيث تأثير الشمس والريح يكاد ينعدم كلية فى هذا الوقت من النهار

وختاما أشكر لحضراتكم تفضلكم بالحضور كما أنى أشكر حضرات أعضاء لجنة اصلاح المسجد والمقاولين رو بتلتز ولينهارد ومهندسهما المستر جوبلر على ما أمدونى به من معلومات ورسومات قيمة فى هذا الموضوع .

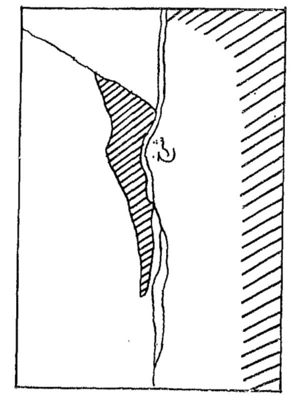
امام شعبان
الاستاذ بكلية الهندسة



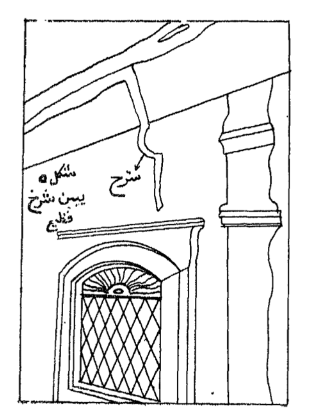
شكل (١) يبين الاجزاء الرئيسيه للجامع

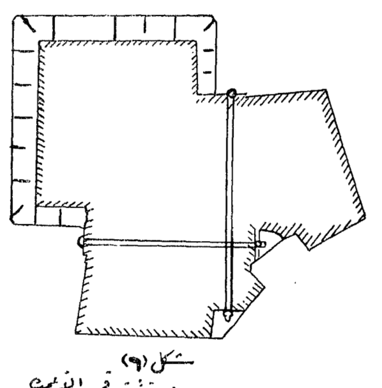


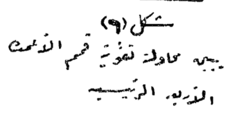
كانة حديد منأ كسده
شكل ٢ وبه شروخ
عالية
شروخ
شكل (٣)
يبين الروابط والشروخ
التي بأرجل العقود



شكل ٤ — شرخ فى إحدى الزوايا الرئيسية للجامع



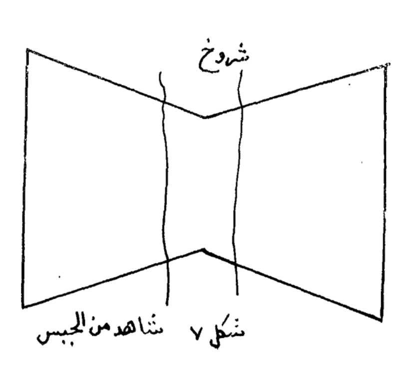




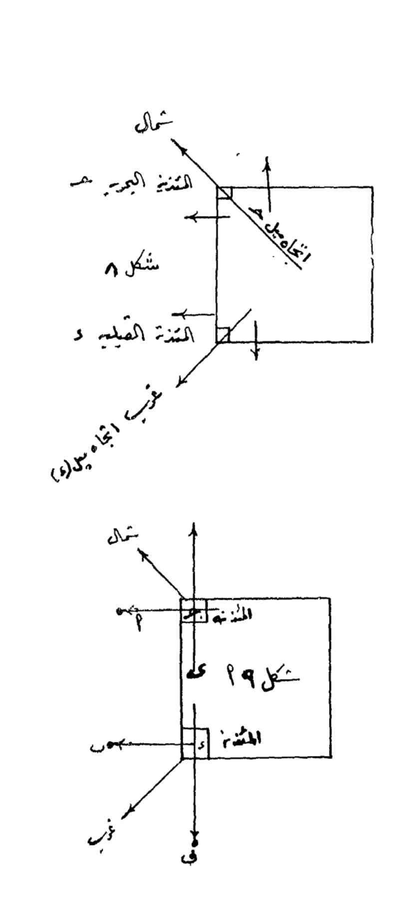
شكل (٩)

يبين محاولة تقوية قحم الأعمدة

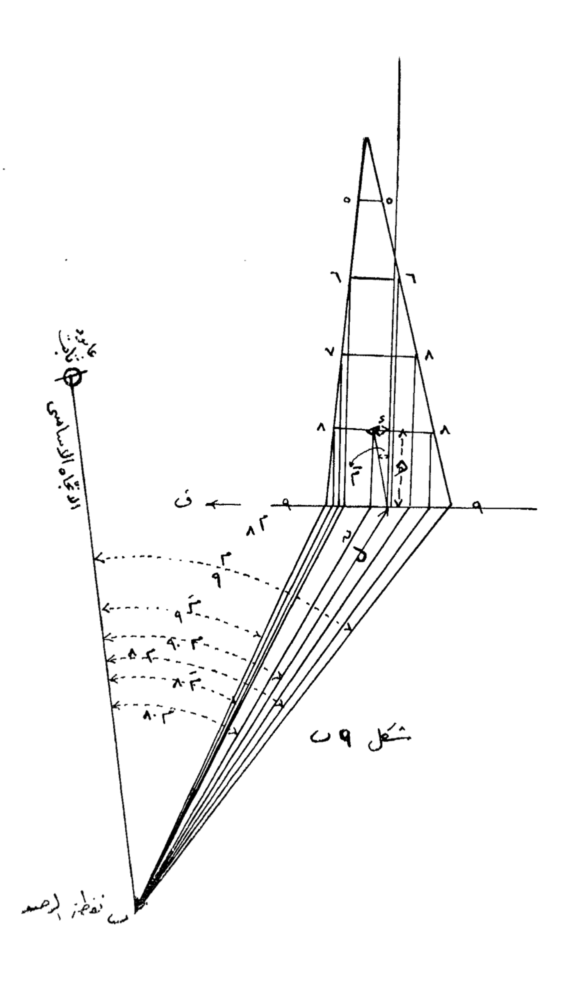
الأربعة الرئيسية



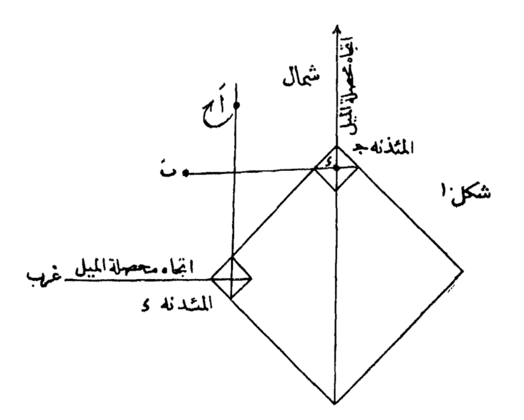
شكل ٧ شاهد من الجبس

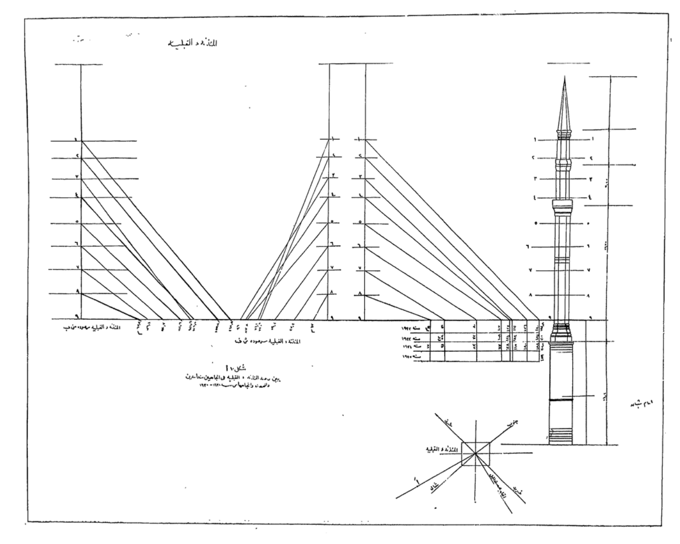


شمال
المئذنة البحرية حـ
اتجاه ميل حـ
شكل ٨
المئذنة القبلية د
غرب
اتجاه ميل (د)
شمال
المئذنة
أ
ى
شكل ٩ أ
المئذنة
ب
غرب
ف

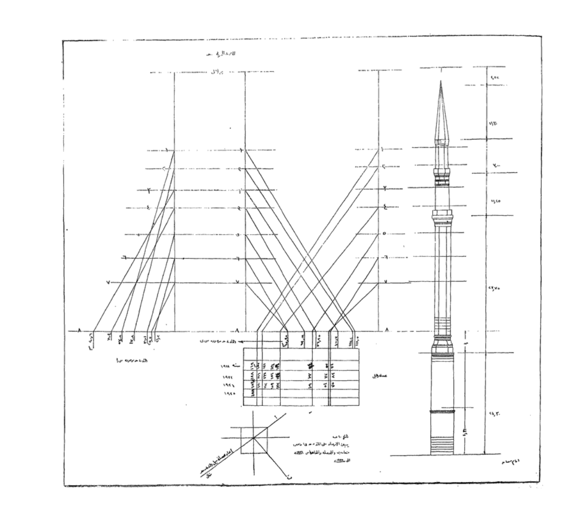


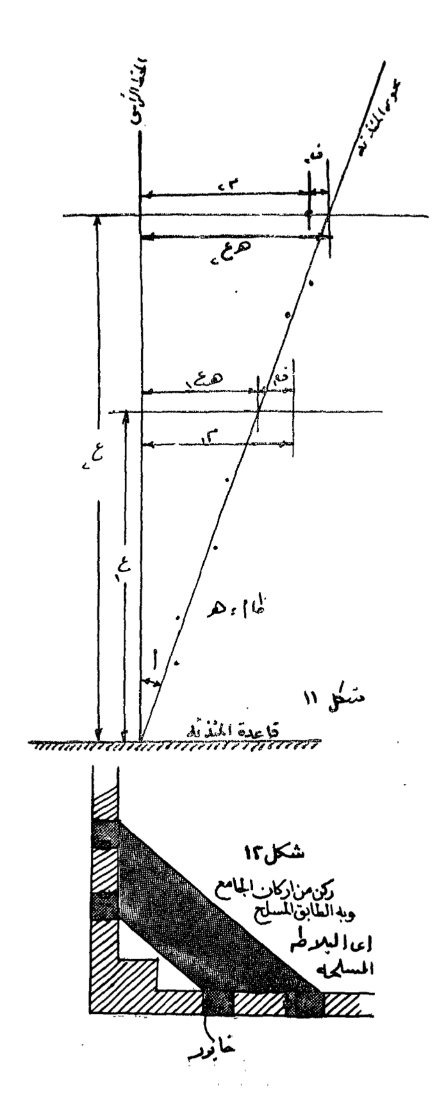
شكل ٩ ب


شمال
اتجاه محصلة الميل
المئذنه جـ
شكل ١
اتجاه محصلة الميل
غرب
المئذنه ء

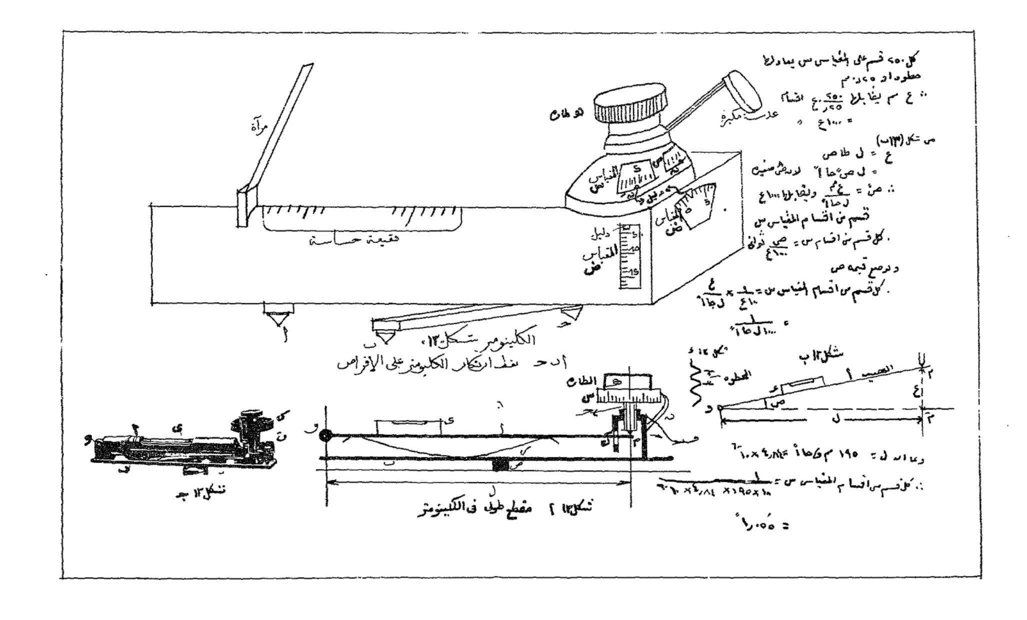


شكل ١٧
يبين رصد المئذنة القبلية في اتجاهين متعامدين
والمقدار واتجاهاته سنة ١٩٢٢ - ١٩٢٥





الخط الرأسى
محور المئذنة
شكل ١١
قاعدة المئذنة
شكل ١٢
ركن من اركان الجامع
وبه الطابق المسلح
اى البلاطة
المسلحة
خابور



مرآة
فقيعة حساسة
عدسة مكبرة
المقياس ص
الكلينومتر شكل ١٣
أ ب جـ نقط ارتكاز الكلينومتر على الأقراص
شكل ١٣ ب
شكل ١٣ أ مقطع طولي في الكلينومتر
شكل ١٣ جـ

دقة الكلينومتر

بفرض خطأ قدره قسم واحد أي ثانية

= ٢٩٠٠٠ × ثَ × ٤,٨٤ × $١٠^{-٦}$ سم

= ٢٩٠٠٠ × $\frac{١}{٣}$ × ٤,٨٤ × $١٠^{-٦}$

= ١,٠ ملليمتر في الطرف الاعلى

بفرض عدم تذبذب الفقاعة

الخطأ الحقيقي في تقدير الميل بالكلينومتر

نحو حوالي ١٢ ثانية وهو يساوي

٢٩٠٠٠ × ثَ × ٤,٨٤ × $١٠^{-٦}$ سم

حيث أن ثَ = $\frac{١٢}{٣}$

∴ الخطأ = ٢٩٠٠٠ × $\frac{١٢}{٣}$ × ٤,٨٤ × $١٠^{-٦}$

= ١,١٢ ملليمتر في الطرف الاعلى

٢م

المقطع

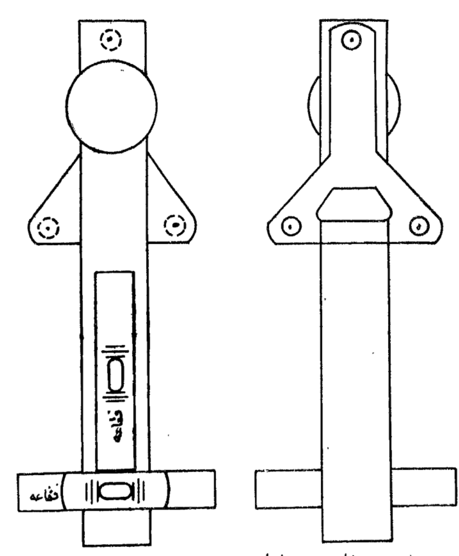
م

المنقلة

٢٩ متر

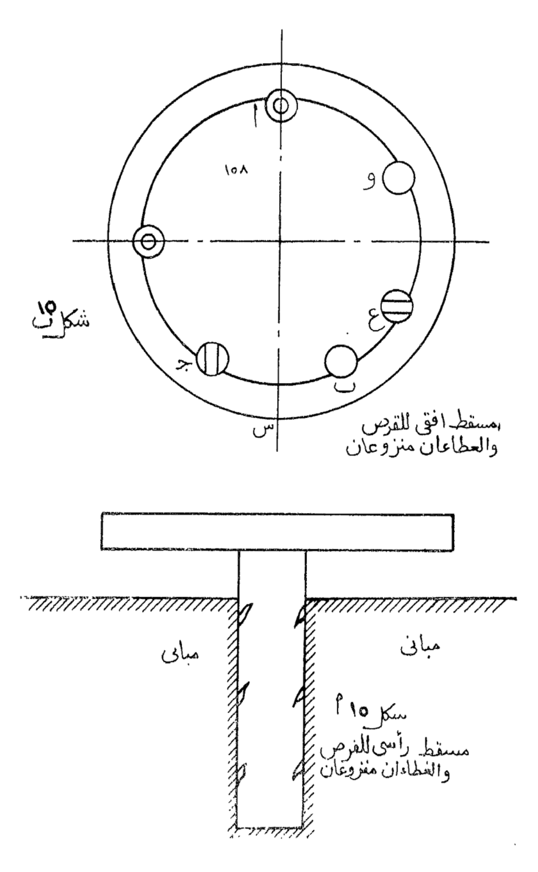
٢م

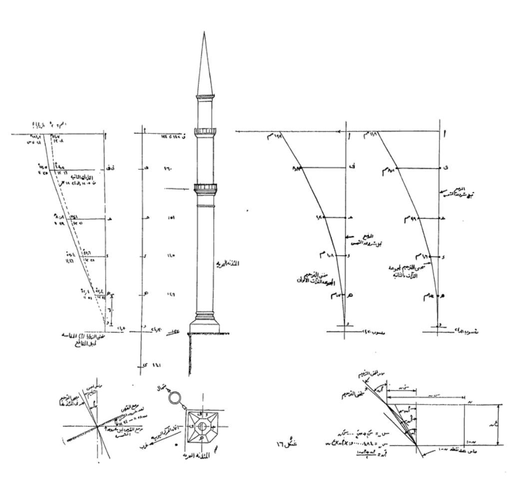
الطرف الثابت



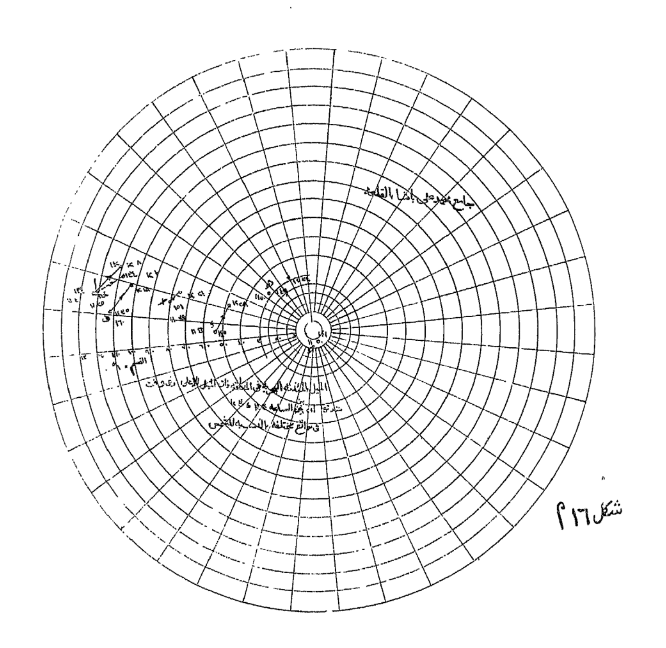
روح التسويه المستعمل لوضع
الأقراص افقيه وهو مقلوب
لأظهار نقط ارتكازها الثلاث
شكل ١٤ أ

روح التسويه فى وضعه العادى
شكل ١٤ ب

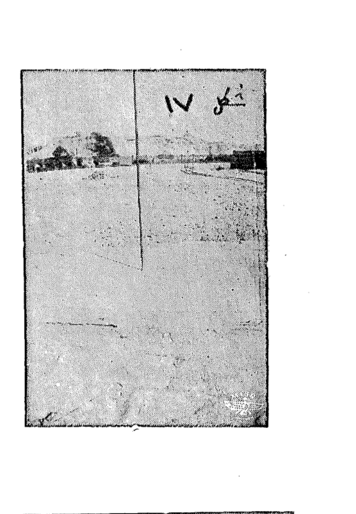

١٥٨
ا
و
ع
ب
ج
س
شكل ١٥ ب
مسقط افقى للقرص
والعطاءان منزوعان
مبانى
مبانى
سكل ١٥ أ
مسقط رأسى للقرص
والغطاءان منزوعان

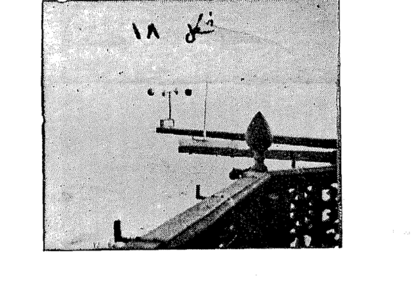


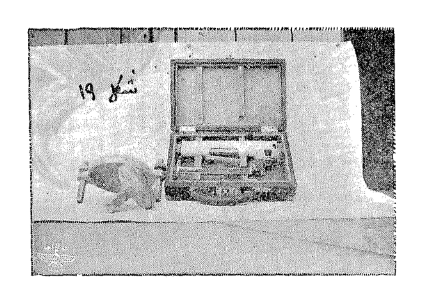
شكل ١٦



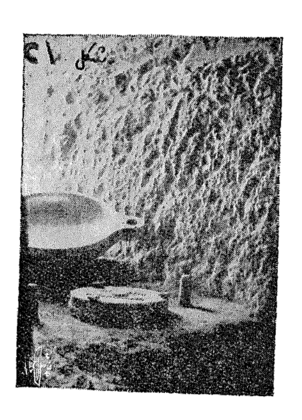
شكل ١٦م

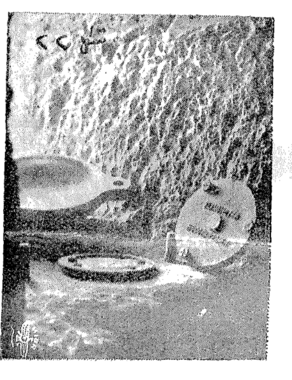

شكل ١٧

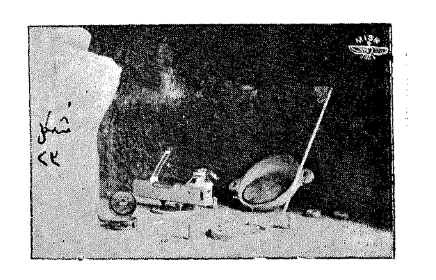

شكل ١٨

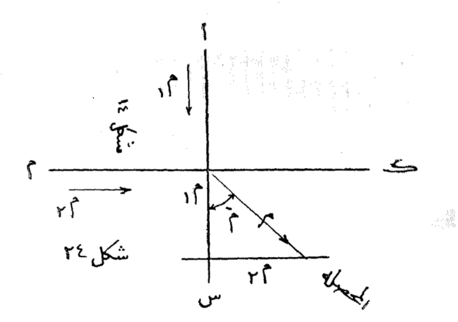

شكل ١٩

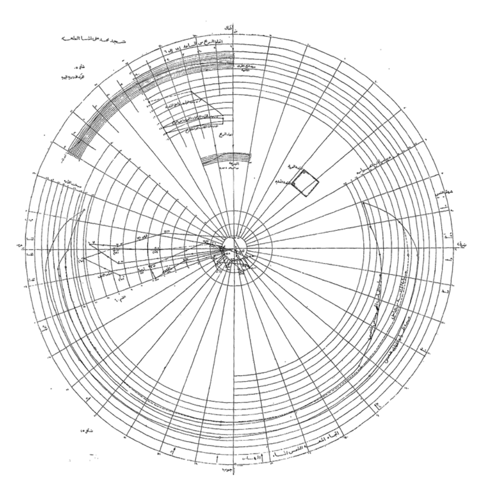


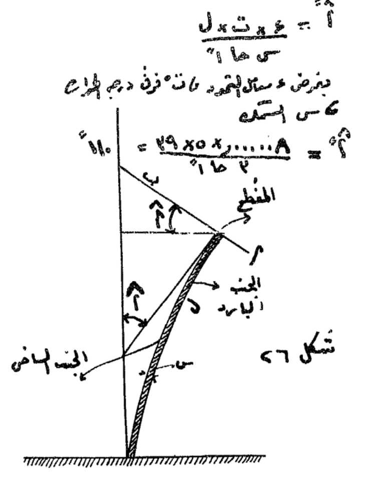

شكل ٢١


شكل ٢٢

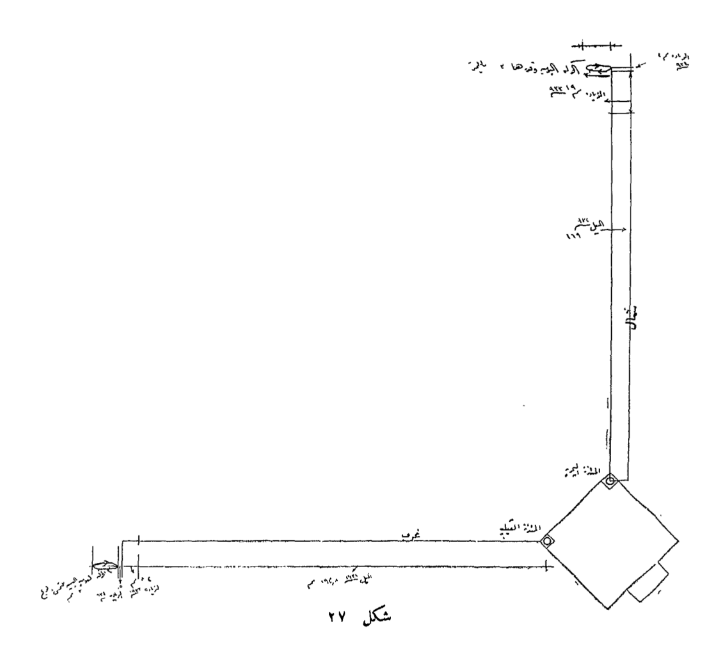

شكل
٢٢


ا
م١
م
ك
م١
م٢
م
م
شكل ٢٤
م٢
س
المحصلة

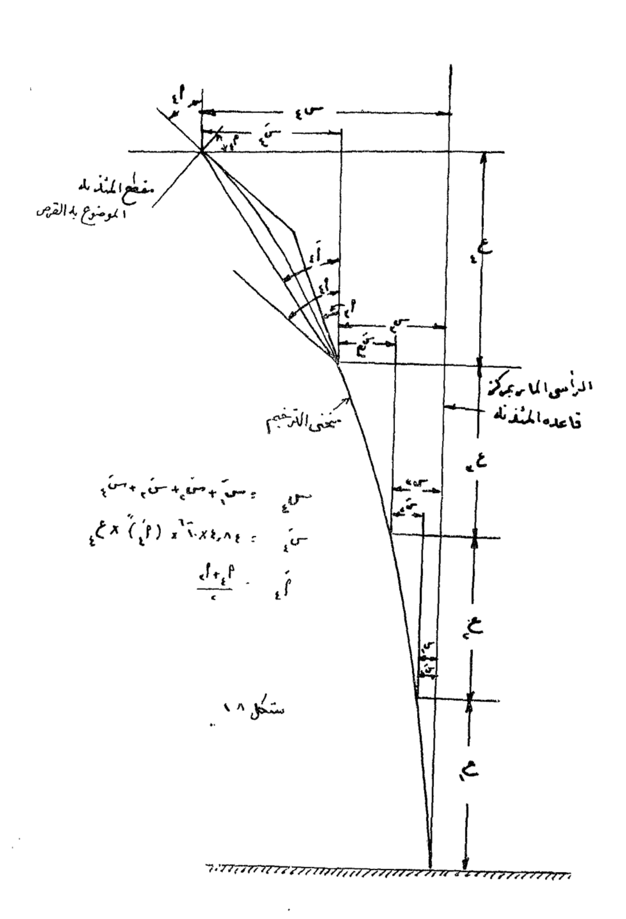

شمال
جنوب
شرق
غرب
شكل ٥
اتجاه اشعة الشمس اثناء



شكل ٢٦



شكل ٢٧


مقطع المئذنة
الموضوع به القرص
منحنى الترخيم
الرأسي المار بمركز
قاعدة المئذنة

شكل ١٨